数据故事化方法：析出、重组与叙事*

靳庆文 [1, 2]
（[1] 数据工程与知识工程教育部重点实验室（中国人民大学），北京，100872；[2] 中国人民大学信息资源管理学院，北京，100872）

摘要：[**目的/意义**]融合可解释性结果的数据故事化方法为解决数据认知困难、预测结果难以理解以及模型决策可信度低等问题提供了新策略。[**方法/过程**]梳理了模型无关局部可解释性技术的解释形式、数据故事的叙事结构以及目前数据故事化研究中采用的方法，基于可解释性理论与数据故事化实现模式构建了“析出—重组—叙事”的数据故事化模型，利用定义的要素元组给出数据故事映射流程，明确了实现故事化模型设计的关键技术。[**结果/结论**]在数据故事化模型设计的理论指导下，本研究提出面向解释结果的“扇形”故事化实现路径和融合解释结果与故事化模型要素的交互框架，并通过案例研究验证数据故事化方法在结果解释方面的实用价值。通过构建基于可解释性结果的数据故事化方法体系框架，为扩展具备数据感知与认知、可辅助智能决策功能的故事化路径提供新思路。

关键词：数据故事化; 可解释性; 模型无关; 局部可解释; 叙事

分类号：G203

1 引言/Introduction

洞见呈现和结果解释是大数据时代两个重要的研究方向，如何将数据分析及解释结果以可理解的方式向用户呈现、交流和传递是一个值得探究的问题。数据故事化方法与可解释性技术相结合为解决上述问题、提升数据认知和支持决策提供了新方案。一方面，基于可解释性技术对复杂模型结果进行解释，要求非专业人士理解模型决策的运作原理，但由于非专业人士缺乏特定领域的专业知识，使得仅依靠可解释性技术辅助的算法模型难以取得非专业人士的信任，而借助故事化方法呈现解释结果更易于非技术背景的受众理解。另一方面，数据故事化具有易于记忆、认知和体验的特点，通过生成一个通俗易懂的数据故事帮助用户做出决定[1]，而传统数据故事化侧重于呈现数据分析结果，在此基础上通过引入可解释性技术揭示模型决策原因，增加了数据故事的深度与应用价值。因此，将可解释性结果以数据故事形式进行呈现可实现双方优势互补，既保留了可解释性技术增强透明度与便于调试的优势，也体现数据故事化叙述方式易于理解、交互性强的特点。

基于现有文献分析，目前对于数据故事化的研究多聚焦在概念、流程、模型或结构、应用等方面[1,2,3,4,5]，对于数据故事化方法的研究仍处于探索阶段。本研究提出的数据故事化方法是一种旨在探索数据洞见、实现由数据感知到数据认知的过渡、辅助决策制定的通用性研究方法[1]。该数据故事化方法在涉及任何需要解释任意模型（模型无关）对单样本点（局部解释）的预测结果、并与非技术受众沟通的场景中应用广泛，如金融领域的信用评分解释、医疗领域的疾病预测解释、电商平台的顾客行为分析以及教育领域的课程推荐系统等。分析发现，现有的数据故事化方法存在故事主观性较强、与领域知识融合度不够、重要信息被过度简化等不足。为解决上述问题，在故事生成中通过引入基于数据和模型行为的客观解释结果，而不是叙述者的主观判断，有利于提高故事的客观性和可靠性；此外，将模型无关局部可解释性结果转化为易于理解的数据故事，能够帮助非专业受众理解数据分析结果，进而拓宽数据故事与专业知识的融合路径；并且，现有的数据故事化方法因过度简化而丢失重要信

---

* 本文系教育部人文社会科学研究规划基金项目“基于数据科学的信息资源管理研究范式创新”（项目编号：20YJA870003）研究成果之一。（This work is supported by Humanities and Social Sciences Research Planning Fund of the Ministry of Education’s “Innovation of Information Resource Management Research Paradigm Based on Data Science” (Grant No. 20YJA870003)）

作者简介：靳庆文，博士研究生，Email：1993792191@qq.com。（Jin Qingwen: PhD student, E-mail: 1993792191@qq.com.）

息，局部可解释性结果通过展示模型行为与决策依据，保留了更多的复杂度和重要细节，确保故事的可访问性。由此可见，融合可解释性技术的数据故事化方法有助于充分发挥其挖掘数据洞察、增强数据理解和提供深层次认知的作用，从而实现传达、解释、说服或吸引目标受众的目的[6]。

为探索在数据故事化方法中解释结果与叙事结构的融合路径，本研究梳理了模型无关局部可解释性结果的呈现形式、数据故事的叙事结构以及现有的数据故事化方法等内容，并从数据故事化模型视角入手，对“析出—重组—叙事”故事化模型要素进行定义、表示，提出基于要素元组的数据故事映射流程，讨论分析了面向解释结果的“扇形”故事化实现路径和交互融合框架，并通过“银行贷款信用风险预测”案例验证提出的数据故事化方法及模型的可用性。

2 相关研究/Relevant research

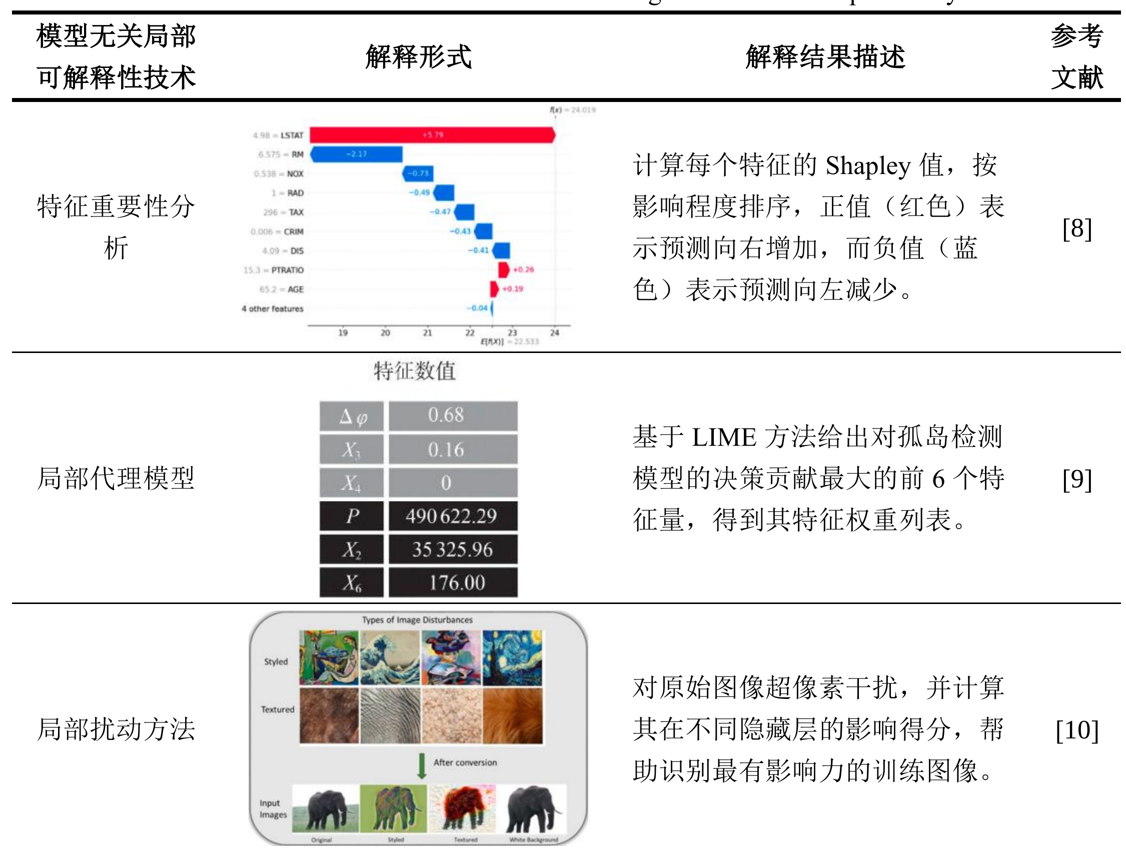
本研究致力于实现模型无关局部可解释性结果与数据故事化模型二者的融合：首先根据模型信息及解释结果内容提取关键数据，并将其与数据故事化模型要素匹配，然后基于故事目标和用户行为进行数据事件的情景化排序，最后实现解释结果的故事化叙述。鉴于此，本部分重点对模型无关局部可解释性结果的呈现形式、数据故事的叙事结构以及现有的数据故事化方法等内容展开研究。

2.1 模型无关局部可解释性结果的呈现形式

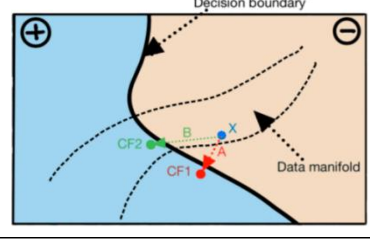
在可解释性机器学习中，“模型无关”与“局部解释”分别是指“面向任何模型”和“解释单个样本点”[7]。模型无关局部可解释性方法能够解释单样本点在任意模型中的预测结果，旨在帮助用户理解并信任模型决策。不同的可解释性方法输出的结果形式具有差异性，如特征重要性分数、特征权重列表、解释性规则和可视化图表等，如表 1 所示。

表 1 不同的模型无关局部可解释性结果的呈现形式

Table 1 The Presentation Form of Different Model-agnostic Local Interpretability Results



模型无关局部可解释性技术	解释形式	解释结果描述	参考文献
特征重要性分析		计算每个特征的 Shapley 值，按影响程度排序，正值（红色）表示预测向右增加，而负值（蓝色）表示预测向左减少。	[8]
局部代理模型	特征数值 $\Delta\varphi$ 0.68 X_3 0.16 X_4 0 P 490 622.29 X_2 35 325.96 X_6 176.00	基于 LIME 方法给出对孤岛检测模型的决策贡献最大的前 6 个特征量，得到其特征权重列表。	[9]
局部扰动方法		对原始图像超像素干扰，并计算其在不同隐藏层的影响得分，帮助识别最有影响力的训练图像。	[10]

可视化技术		采用部分依赖图（PDP，红色线）和中心个体条件期望（c-ICE，黑色线）图识别输入变量和模型输出之间关系的方向。	[11]
反事实解释		样本点 x 有 A、B 两条路径穿过决策边界来改变预测结果（有效反事实），但 A 路径是最短的，即最小反事实。	[12]
规则推理	$R^{+}_{c\alpha_Anchor}$= {(length_of_stay > 8.00 & two_Year_recid = 1 & race = African − American & is_recid = 1 & c_charge_degree = F & sex = Male & days_b_screening_arrest ≤ 1.00 & 25 < age ≤ 31 & 2 < priors_count ≤ 5 & is_violent_recid = 1) target ⇒ High}	基于 Anchor 规则解释“再犯罪预测模型”的输出结果，显示监管年限大于 8 年，且年龄在 25~31 的非裔美国男性，会有更高的再犯罪率。	[13]
解释性文本	**Main-Rule** **Rule 1**: If the probability of Class 4 is **greater** than **0.444**, and the probability of Class 1 is **less** than **0.383**, it will be **Class 4**. **Rule 2**: If the probability of Class 4 is **less** than **0.444**, the probability of Class 1 is **greater** than **0.515**, and the probability of Class 2 is **less** than **0.136**, it will be **Class 1**. **Rule 3**: If the probability of Class 4 is **less** than **0.444**, the probability of Class 1 is **less** than **0.515**, and the probability of Class 2 is **less** than **0.133**, it will be **Class 3**. **Rule 4**: If the probability of Class 4 is **less** than **0.444**, the probability of Class 1 is **less** than **0.515**, the probability of Class 2 is **greater** than **0.54**, and the probability of Class 3 is **less** than **0.095**, it will be **Class 2**.	使用基于分层相关性传播的方法可视化缺陷图像，将模型拟合到决策树中，并将预测结果转换为人类可解释的文本。	[14]

综上分析，模型无关局部可解释性技术的解释形式因技术差异而有所不同，这些技术在增强模型的透明度和辅助用户理解模型的决策行为方面发挥着重要作用。然而，绝大多数的解释是基于特征向量的维度来阐释模型的输出，这意味着理解这些解释结果往往需要相应的领域知识和专业技能，对于非专业用户而言并不友好。相较于传统的解释形式，采用数据故事化的方式来呈现和传达解释结果，不仅能够为用户提供更加丰富直观的数据洞察，还能在提升数据理解和结果解释的有效性方面带来显著优势。这种以用户为中心的故事化呈现手段，弥补了传统可解释性技术对非专业用户不够友好的短板，开辟了加强数据理解和结果传达的新途径，展现了其独特的研究和应用价值。

2.2 数据故事的叙事结构

构建数据故事依托两个核心元素：叙事结构和故事内容，它们分别扮演着数据故事的“骨架”和“肌肉”的角色。叙事结构负责搭建故事框架，确保故事沿着一个明确的路径展开，涵盖故事的开端、发展、高潮、和结尾等关键阶段，为故事提供清晰的脉络。与此同时，故事内容由包括人物、情节、情感和对话在内的核心元素所填充，赋予故事以情感和深度。

在探索数据故事叙事结构的研究中，多种叙事框架被提出以适应不同的叙事目的和观众需求。例如，Segel E 和 Heer J 介绍的马提尼酒杯结构、互动演示幻灯结构和向下钻取结构[15]，平衡了创作者意图和观众探索的需求。Yuan STD 等采用的三幕式结构“背景阐述、冲突、解决方案”[16]，旨在通过叙事广告激励微型企业的服务创新。Freytag 的金字塔结构[17]以及 Dykes 的数据叙事弧模型[18]，专注于通过数据故事驱动业务决策。Campbell 的“英雄之旅”[19]强调个人的成长和变革旅程，而 Hoey 的“问题—解决方案”模式[20]提供了一种注重问题解决的叙事策略。这些研究展示了数据故事叙事结构的多样化和丰富性，指出了追求用户吸引力、情感共鸣和问题导向情节发展的重要性。不同的叙事结构根据其框架、目标和

目标受众差异，有着各自的特点和应用场景，如“问题—解决方案”模式适合聚焦问题解决，而“英雄之旅”框架则更侧重于描绘个人的成长和变革故事。这些多角度的叙事结构为数据故事提供了丰富的表现形式和深度，确保每个故事都能以最适合其内容和目的的方式呈现。

2.3 现有的数据故事化方法研究

在探索数据故事化方法中，本研究从故事流方向、分段式故事描述、组成要素和时间等四个维度进行深入分析，如表 2 所示。（1）对故事流方向的分析揭示了数据故事化的三种核心方法：创作者目标驱动、受众行为驱动、以及创作者与受众共同参与。这为本研究提供了一个重要的洞见，即有效的数据故事化需要平衡创作者的意图和受众的参与度。这种平衡思想指导着本研究数据故事化实现模式的创建，既确保故事既符合创作者的目标，又能够引起受众的兴趣和情感共鸣。（2）分段式故事描述的方法论为本研究的实现模式提供了结构上的支持。通过将故事化过程划分为不同阶段，如“建模—生成—呈现”或“解构—重组—叙事”，本研究采纳了类似的分段逻辑。这种分段方法不仅有助于系统地从可解释性结果中提取关键要素，而且通过重组这些元素，以及采用恰当的叙事结构，能够有效地呈现数据洞见。（3）对组成要素的分析强调了匹配数据分析结果与故事要素的重要性，以及将故事要素有序排列的必要性。本研究的故事化模式采用析出关键要素、重组这些要素以符合叙事逻辑、叙述故事的结构，正好体现了这一点。（4）从时间维度分析，即故事化作为按时间顺序描述事件的过程，在数据故事化实现模式中，强调时间线在构造有逻辑和引人入胜的故事中的作用，特别是在需要考虑事件顺序和情感发展的情境中。

表 2 数据故事化方法分类及应用

Table 2 Classification and Application of Data Storytelling Methods

分析维度	故事化方法	故事模型/结构	应用案例
故事流方向	创作者目标驱动	SPSN 模型	基于 SPSN（Situation—Problem—Solution—Next steps）模型探索地震发生频率和演化过程，构建包含情景分析、待解决问题、解决方案和后续行动的地震数据故事[21]
		金字塔结构	将 Freytag 金字塔应用于由 103 个数据视频提取的故事中，提出了一个由叙事模式、数据流和视觉传达组成的设计空间[22]
		SUCCESs 模型	将 SUCCESs 模型应用于图书馆教学：采用简单的（Simple）方式呈现图书馆的使命，引导学生用意想不到的（Unexpected）策略寻找图书馆资源，向学生介绍如何通过具体的（Concrete）数据库定位某个主题文章，利用统计数据确保学生使用可信的（Credible）信息来源，借助情感（Emotional）诉求刺激学生的注意力和参与度，通过故事（Stories）形式激励学生努力开展研究[23]
	受众行为驱动	向下钻取事结构	提出一种带有交互式幻灯片的叙事可视化方法，用户通过向下钻取路径在不同粒度的层次上进行探索，并决定点击深入探索或转移到其他相关组件[24]
		基于用户交互的故事生成模型	通过提取数据内容、逻辑关系和讲述概率三个故事要素，提出一种基于用户交互行为的

			数据故事建模方法，其中用户及其交互数据分别作为故事主人公和故事内容[25]
	创作者与受众共同参与	马提尼酒杯结构	设计一个由故事合成、叙事可视化和动画分层组合的马提尼酒杯可视化，基于分层和滚动讲述技术创造数据故事，故事以解释或叙述开始（创作者驱动），依靠用户的探索性和交互式操作决定显示内容（受众驱动）[26]
		互动演示幻灯结构	Gapminder 在进行人类发展趋势研究中，采用直方图、散点图和条形图三种演示图形展示全球收入与健康趋势，每个图表都是以逐步的方式进行构建，并附有动画过渡、单帧交互等方式解释每个阶段，该方法允许用户在多个幻灯片之间完成个性化导航[15]
分段式故事描述	建模—生成—呈现型	抽象层模型	利用网络信息系统完成页面访问、数据检索等操作，对媒体类型使用故事板进行建模，并通过扩展视图生成媒体类型，最后分层呈现故事板中的活动[27]
	解构—重组—叙事型	“解构—组织—场景再现”结构	为实现开放馆藏资源故事化，设计了“解构—组织—场景再现”为主线的故事化流程，以促进知识发现与服务[28]
		“集成、聚合和叙事”结构	为实现公众诉求的数据故事化描述方法，引入三幕式结构完成对公众诉求信息的集成概览、聚合重构和总结叙事[29]
	探索—叙事型	数据探索、数据叙事两个阶段	为利用数据故事化提供对教育数据要素的认知解读和价值转化，通过数据探索、数据叙事过程，构建分析模型、故事类型、叙事模型与叙述策略的故事化参考模型[30]
组成要素	多要素叙事法	三要素模型	为向普通受众讲述有关疾病的数据驱动故事，将故事模板应用于三种选定疾病，以展示**叙事**技术如何支持**视觉**交流并促进对医疗**数据**的理解[31]
		5W1H 模型	将 5W1H 框架应用于新闻故事写作，**What** 标识一个事件，**Who** 确定了与事件关联的人或组，**When** 描述事件发生的时间，**Where** 报道事件发生的地点，**Why** 用来解释新闻信息，**How** 确定一个事件是如何发生的[32]
		五元素模型	为帮助学生复述一篇说明性文章，采用文本地图的形式解释内容细节，并明确指出叙述性故事复述的组成部分应包括**人物**、**背景**、**情节**、**冲突**和**解决方案**五个要素[33]
时间	基于情感变化的故事线流程	“男孩遇到女孩”故事模型	通过绘制 G-I（Good fortune—Ill fortune）轴，描绘了一个人在一天时间内发生美好事情与糟糕事情的情感变化曲线，曲线平均值以上代表繁荣、健康，平均值以下是死亡、赤贫、

		疾病[34]
叙事流程	多模态故事构图	为将多模态数据表达为具有层次关系的多模态故事，通过数据嵌入、主题建模、故事情节生成、故事草稿生成和故事评估五个模块来创建多模态叙事架构 [35]

综上所述，列举的数据故事化方法在叙事结构、目标受众、情感元素、互动性和数据可视化等方面展现出了共性，均强调叙事的重要性、受众需求、情感共鸣、基于互动方式提高用户参与度、利用可视化工具呈现数据等内容，而不同的故事化方法在叙事模型和结构、驱动方式、应用领域和叙事要素等方面具有差异性。考虑到本研究的目标是将模型无关局部可解释性结果应用到数据故事化模型中，宜采用分段式数据故事化方法：从算法模型及可解释性结果中提取关键要素，并与故事要素进行匹配，以一定的叙事结构进行故事呈现。因此，通过相关研究明确了结果特征、故事要素、分段式数据故事作为实现数据故事化方法的关键。

3 模型无关局部可解释的故事化模型设计/Design of model-agnostic and local interpretable storytelling model

构建故事化模型是实现数据故事化方法的核心步骤，基于对 2.1 部分内容的分析，模型无关局部可解释性结果多关注样本特征这一参数，特征值的差异直接影响模型输出的结果，因此，建立解释结果特征与数据故事要素之间的连接是构建数据故事化模型的重要部分。

3.1 模型设计的理论依据

本研究设计的数据故事化模型需要多种理论支持，包括可解释性机器学习、数据故事化模式、叙事传输机制、认知科学和人机交互等。其中，可解释性理论体现在解释性质、解释效果和工具开发等方面，具体包括模型无关性、局部解释性、特征重要性、因果关系、结果可理解性和可解释性工具等研究内容，可解释性理论指导着由预测结果到解释结果的实践过程。数据故事化实现模式大致经历了三幕式叙事结构[16]、叙事弧线理论[36]和编剧理论[37]三个发展阶段，故事发展内容逐渐细化，共同指导由故事要素到故事产品的生成过程。同时，叙事传输机制强调用户在数据故事中的沉浸式体验与情感共鸣；认知科学帮助人们如何理解、处理和记忆信息，对于设计易于记忆和深层认知的数据故事至关重要；人机交互理论强调故事与用户的交互方式，便于建立用户反馈机制与生成个性化数据故事。为凸显本研究的数据故事化方法的模型无关性与局部解释性，应重点关注可解释性机器学习理论与数据故事化实现模式对故事化模型构建的指导措施，如图 1 所示。

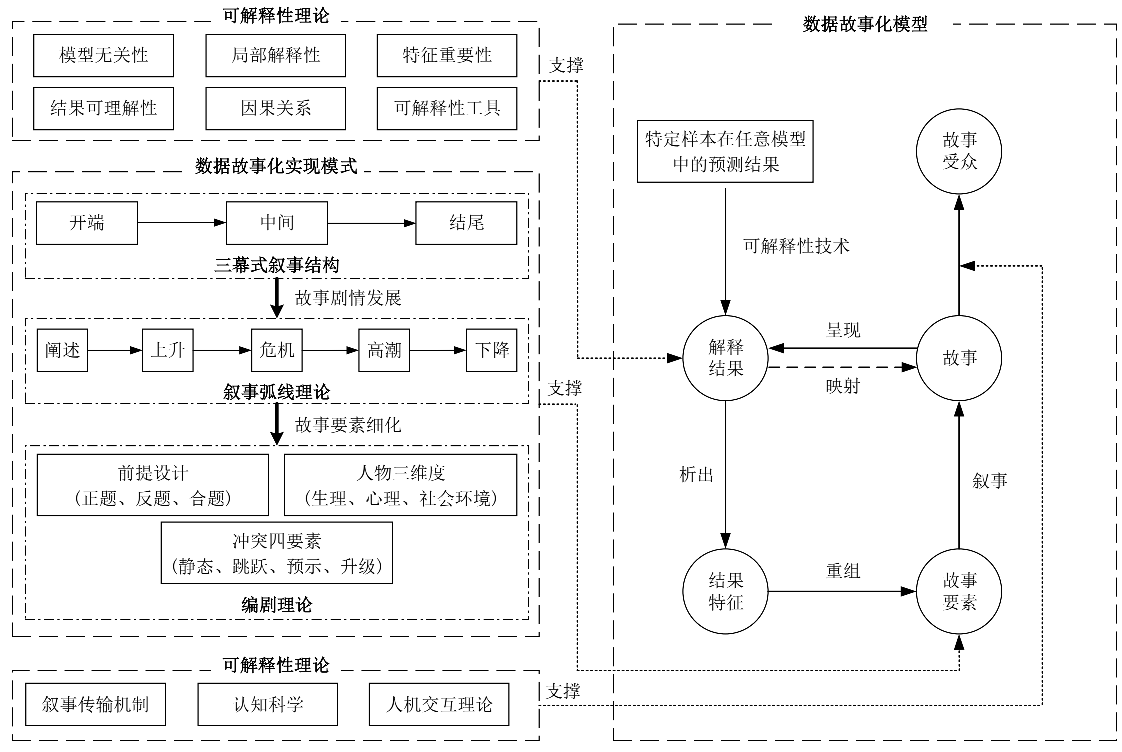


图 1 可解释性理论与叙事模式主导的故事化模型设计

Figure 1 The Storytelling Model Design Dominated by Interpretability Theory and Narrative Patterns

在数据故事化模型设计中，本研究构建了“析出—重组—叙事”层层递进的数据故事生成模型：首先从解释结果中析出结果特征，旨在基于可解释性结果获取事件信息，以为故事叙述作准备；然后将结果特征重组为故事要素，其目标是建立解释结果与故事要素的连接，实现结果特征在叙事结构中的映射；最后由故事要素发展为数据故事的途径为依托叙事结构实现故事化模型的具体化。整个“析出—重组—叙事”的数据故事化模型的底层逻辑是数据的真实性和故事的叙述性，真实的业务数据是生成数据故事的基础，故事导向的叙述技巧和视觉设计加深了用户对数据的理解。

为验证基于多种理论设计的故事化模型的有效性和效率，本研究首先剖析了模型组成要素及其表示方法，并基于提取的要素给出数据故事映射方案。最后利用具体案例验证融合解释结果与故事化模型的数据故事化方法，具体包括：从可解释性结果数据中提取关键特征信息（析出）、逻辑性地重组结果特征信息（重组）以及有效地向受众讲述故事（叙事）。

3.2 基于模型无关局部可解释性结果的模型要素识别及表示

为建好解释结果与数据故事要素之间的连接，在模型无关局部可解释性结果的基础上，先分别获取解释结果与故事事件的要素集合，再按照特定的叙事结构将两个集合紧密关联起来，从而完成数据故事化模型的“析出”与“重组”操作。其中，解释结果要素是数据故事的原始材料，具体包括预测结果概率值、关键特征值、用于训练代理模型的新样本集、解释特征权重值等，而数据故事要素是数据故事的合成材料，具体是指故事的背景与目标、叙事结构、人物、事件、情节等。

样本特征是最能体现结果要素的核心指标，而事件是将可解释性结果要素映射到数据故事的桥梁。研究者们对于事件的认识各有侧重：①从要素构成视角看，事件包括角色、行为、时间和空间四个要素，其中角色是事件行为的实施方与接受方，行为是角色在叙事过程中的交互动作，时间和空间代表事件发生的时空属性[28]。②从事件关联视角看，每个事件都使用一般事件信息、与事件相关的经验数据、事件的时间和地点、到其子事件的链接、到其他事

件的因果链接来表示[38]。③从特定领域视角看，数据新闻中的事件是一组以不同方式报道同一新闻事件的新闻文件[39]，事件发生时间和参与实体是区分事件类型的关键。档案中的事件可以用起止时间、地点、代理人、活动、艺术历史时期、价值、流派、风格和运动、对象、价值、材料、维度和主题等 12 种不同的属性来描述，这些属性是在与博物馆合作伙伴讨论并基于事件模式分析得出的[40]。本研究对于事件的定义是由人物（待解释样本）主导，依据特征权重产生样本特征值的修改行为，同时可计算与待解释样本之间距离的一类故事点，事件数量与类型不限，依据故事解释目标选择合适的事件进行呈现。

将样本特征与事件两个概念整合在一起的数据表示方式为建立模型无关局部可解释的数据故事化要素元组（以下简称“要素元组”），该元组旨在建立结果要素与故事要素之间的关联，利用结果要素的模型信息得到数据故事的背景信息与故事目标、样本信息得到数据故事的人物、事件等要素，并通过将要素、关系和属性联系在一起，以便受众更好地理解可解释性结果输出的上下文信息。

（1）要素元组定义

通过考虑事件构成要素，要素元组包括三个主要元素：主体、谓语和客体。主体代表解释结果的局部信息，客体包括数据故事的具体要素，谓语表示由解释结果到故事要素的链接方法，该方法形式有阐述、扫描、交换、反转、对话和向下钻取等，最终以（解释结果，故事要素，链接）形式定义要素元组结构。

（2）要素元组表示

现在引入一些符号并正式描述本研究的元组结构。给定一个解释结果要素集 $D = \{D_1, D_2, \ldots, D_i, \ldots\}$，其中 D_i 是样本集中已存在或新生成的单样本特征信息，包含特征与预测结果、特征变化幅度、指示特征重要性的分数度量和与期望目标的距离四个组件。与之关联的是故事事件要素集 $E = \{E_1, E_2, \ldots, E_j, \ldots\}$，其中 E_j 是单一故事点（事件），对应包含人物、行为、变动依据和空间位置四个组件。本研究目标是将所有的解释结果要素与数据故事要素连接起来形成故事组 $S = \{S_1, S_2, \ldots, S_k\}$，每个故事 $S = (E, L)$ 包含一组事件 E 和一组链接 L，其中事件组间的事件 E_1 与事件 E_2 的关系可以是有向或无向链接。集合表示形式见图 2，图中全集 U 包含解释结果要素集 D 和故事事件要素集 E，并在事件规则化排列的基础上生成一个个故事。

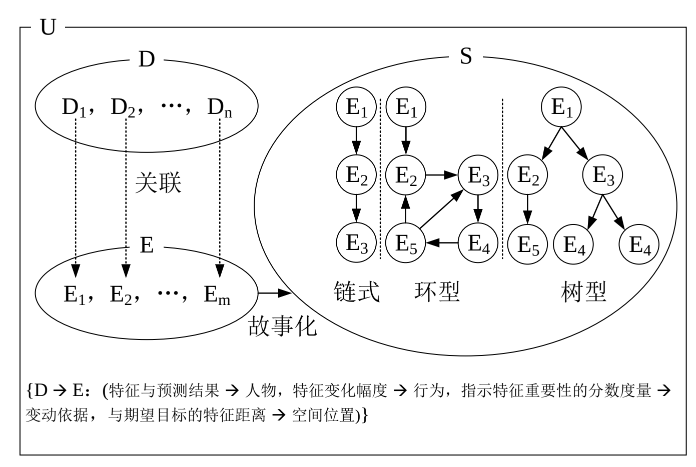


图 2 要素元组的集合表示形式

Figure 2 Set Representation of Element Tuples

依据“结果要素—故事要素”形式，对于构建模型无关局部可解释的数据故事化模型、指导模型事件生成以及实现可解释性结果的故事化呈现具有实践价值。要素元组中的链接信

息保障了故事化呈现的可溯源性，方便用于数据故事化中的推理与智能决策。通过分析要素元组，可以生成关于要素之间关系的见解，从而更好地支持受众的决策过程。

3.3 基于要素元组的数据故事映射

如 2.1 节所述，尽管模型无关局部可解释性结果的输出形式多样，但从解释结果中析出故事可用的特征要素是实现数据故事映射的关键，在此基础上，将结果要素重组为数据故事所需的要素，并依据特定的叙事结构进行故事生成与呈现。基于要素元组的数据故事映射如图 3 所示，通过对解释结果及其预测模型进行关键要素提取，并建立提取要素与数据故事化的关联关系，经过故事建模、生成和呈现步骤，获得数据故事产品，从而实现由可解释性结果到数据故事的映射。

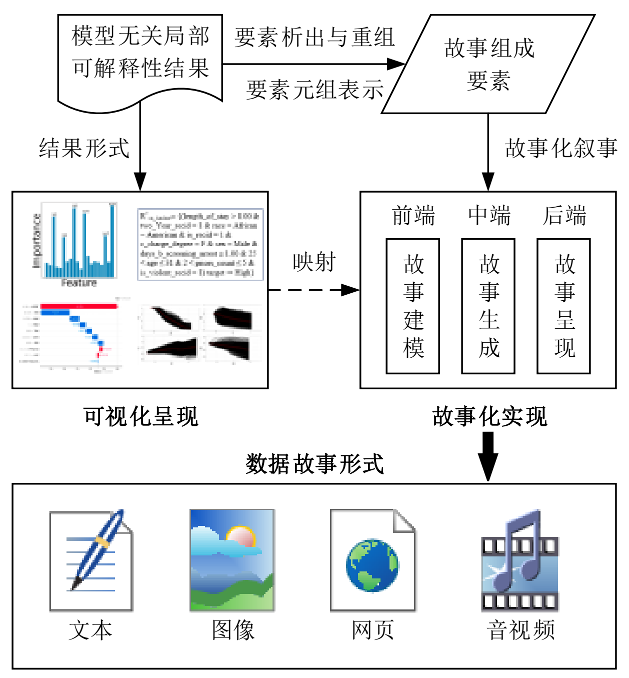


图 3 面向模型无关局部可解释结果的故事化呈现设计

Figure 3 Storytelling Presentation Design for Model-agnostic Local Interpretable Results

3.4 实现故事化模型设计的关键技术

设计数据故事化模型需涵盖从模型解释到故事生成的完整路径，并融合相关技术与方法来提升故事的可理解度与互动性。模型设计的核心在于构建一个故事化实现框架，该框架不仅依靠可解释性机器学习技术揭示模型决策的内在逻辑，还借助结果要素析出技术与数据故事生成方法，从而实现可解释性结果到数据故事的转化。本研究方法特别强调从局部可解释性结果要素（预测结果概率值、关键特征值、解释特征权重值等）到故事要素（即故事背景与目标、人物、事件、情节和叙事结构）的转换过程，以及 LIME 技术在生成可解释性结果的作用。图 4 展示了融合四类技术的故事化模型设计流程。

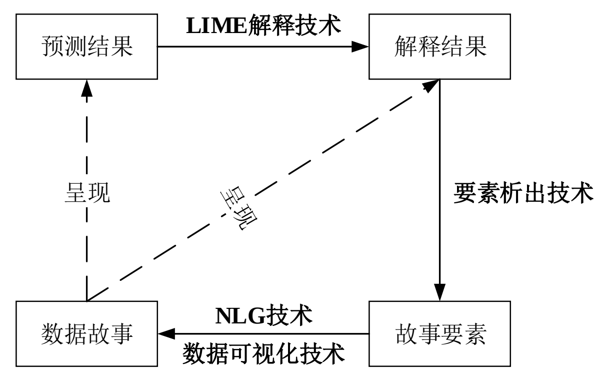


图 4 用于数据故事化模型设计的技术流程

Figure 4 Technical process for designing data storytelling models

（1）可解释性机器学习技术：以 LIME 算法为代表的模型无关局部可解释性技术能够输出特征权重列表，帮助用户定位到在模型决策中起到关键作用的某些特征。通过识别和解释关键特征，为故事的事件生成提供数据支持。

（2）结果要素析出技术：可解释性模型提供了预测结果的概率值和关键特征的实际值，这些数值可直接转化为故事背景（模型做出预测的情境）、故事目标（期望预测概率）和人物（包含特征值与预测结果的样本点）。基于 LIME 技术得到的特征权重值揭示了模型决策过程中的特征贡献度，这些权重值可作为推动故事情节发展的依据，即如何调整不同的特征（事件）达到期望预测结果（故事目标）。

（3）自然语言生成（Natural Language Generation，NLG）技术：利用 NLG 技术，可以将复杂的数据分析和模型解释转换为基于自然语言的文本故事。这一过程不仅包括数据的描述，还包括将解释结果融入故事情节，并将故事情节转化为解释性文本，以增强故事的可读性。同时，NLG 能够根据用户的特定需求生成定制文本，这种个性化的文本生成有助于提高用户对数据故事的参与感。

（4）数据可视化技术：结合故事叙述，使用数据可视化技术（如特征重要性图、决策路径图等）以图形化的方式展示模型的决策过程和解释结果。这增强了故事的直观性和互动性，使得非技术背景的受众也能深入理解。

本研究方法的创新之处在于，它不仅关注从技术角度对预测结果的解释，而且重视如何将这些解释结果转换为有意义、易于理解的故事。通过 LIME 等局部解释技术，本研究能够从模型的局部决策中提取出对应的故事要素，如事件（特征变化驱动的样本预测）、冲突（模型预测概率与期望预测概率不一致）等。综上所述，本研究的数据故事化模型设计方法，通过融合可解释性机器学习、结果要素析出技术、NLG 和数据可视化技术，为将复杂的数据分析转化为互动性强且易于理解的数据故事提供技术路径。

4 融合解释结果与叙事结构的数据故事化方法/Data storytelling method integrating interpretation results and narrative structure

融合解释结果与叙事结构的数据故事化方法旨在将模型的解释性结果与叙事结构有机地结合起来。实现该数据故事化方法的核心步骤包括析出关键解释性要素、整合解释性要素、构建叙事结构以及故事化叙述，故本节深入探究故事化实现路径及解释结果与模型要素的交互融合框架，并通过案例研究验证数据故事化方法的可行性。

4.1 面向解释结果的故事化实现路径

本研究提出的数据故事化方法可对特定样本在任意模型中的解释结果进行故事叙述及呈现，从而起到“模型无关”与“局部解释”的作用。面向解释结果的故事化实现路径如图 5 所示，从模型无关局部可解释性结果出发，顺序经过结果层、要素层、关联层和故事层向

外延伸，层与层之间紧密联系，由结果层到要素层为析出操作，由要素层到关联层为重组操作，由关联层到故事层为叙事操作。各层具体内容依据自身功能的差异表现出不同的特点，结果层以解释结果的特征权重输出为主，要素层基于结果层内容析出样本要素、模型要素和结果要素，关联层是将要素层中的内容依据故事目标或情节发展进行要素关联，故事层是在叙事结构的支撑下协调各类故事要素。

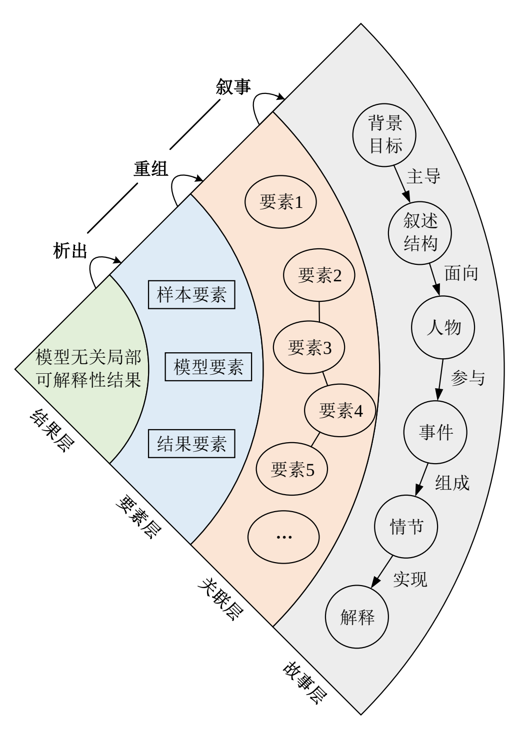


图 5 基于可解释性结果的“扇形”故事化实现路径

Figure 5 The "fan-shaped" Storytelling Implementation Path Based on Interpretable Results

4.2 解释结果与故事化模型要素的交互融合框架

实现模型无关局部可解释的数据故事化方法需建立解释结果与数据故事的交互融合框架，如图 6 所示。该交互融合框架分为结果层、故事层和交互层，其中，结果层是产生可解释性结果的过程，由于本研究重点关注解释结果的故事化呈现，故预测模型和可解释性模型的训练与测试不是研究的重点。故事层包含了故事要素体系，首先基于故事背景和用户期望明确故事目标，接着在故事目标的驱动下构建以叙事结构为核心的故事化模型要素。交互层是将解释结果要素与故事要素通过要素元组衔接起来。通过这样的交互融合框架，能够引导用户探索模型要素和解释性结果之间的关系，从而更深入地理解模型的决策过程。

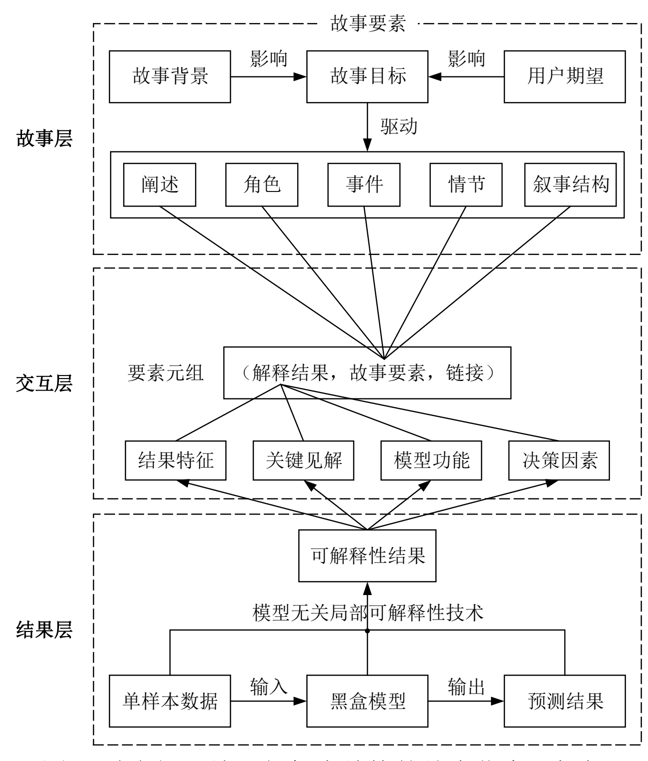


图 6 融合解释结果与叙事结构的故事化实现框架

Figure 6 A Storytelling Implementation Framework Integrating Interpretability Results and Narrative Structures

4.3 模型无关局部可解释的故事化方法应用——以“银行贷款信用风险预测”为例

为验证提出的数据故事化方法在结果解释方面的实用性，对“银行贷款信用风险预测”案例进行研究。业务背景是基于标识违约状况的数据集，通过训练分类模型来预测未知用户的违约风险。选取的“银行贷款信用风险分析”数据集[41]是 Kaggle 官网中用于分类模型训练的开源数据集，并且数据集质量与大小满足分类模型训练要求，具有良好的可访问性和可用性。而样本多样性代表不同类型的贷款案例，其实际应用价值体现在通过提取数据集的关键特征信息作为结果解释依据，并利用故事化手段展示模型如何利用数据集进行信用评估。因此，从数据集可靠性、特征丰富度和案例相关性角度分析，本研究选用该数据集具有一定的代表性。在数据准备阶段，为尽可能规避个人隐私侵犯与算法偏见，数据预处理操作删除了客户年龄、教育水平、客户年收入等敏感特征。在模型训练阶段，基于该数据集训练逻辑回归模型以用于预测。故事背景是已知工作年限为 4 年、住址特征值为 0、债务收入比率为 9.7、信用债务比率为 0.2 的用户u（标记为 0 号样本）在预测模型中的输出结果为[0]，采用模型无关局部可解释性技术对预测结果进行解释，以期用数据故事化方法进一步解读可解释性信息。

（1）可解释性技术选择依据

LIME 算法是一种模型无关、局部可解释的方法，可对单样本点在任意模型中的预测结果实现解释，并且此可解释性算法能够输出表示特征重要程度的权重列表及权重图，可作为故事化模型的构成要素，故 LIME 算法符合模型无关局部可解释的数据故事化方法的解释需求。

（2）可视化样本分布

用于训练代理模型的新样本集是解释结果的关键要素之一。为确保由 LIME 算法构建的代理模型更准确地拟合原始模型，在训练代理模型时，扰动生成的新数据集与初始训练数据应保持同分布。构建代理模型的条件之一是扰动生成新样本集用于模型训练，例如在特定样

本（序号：0）的邻域生成 99 个样本点（序号：1~99），利用欧氏距离公式计算新样本与特定样本之间的距离，并将其作为样本权重，绘制出以待解释样本为核心、基于权重大小和结果聚类的数据分布图，红色和蓝色连接的节点分别代表预测结果为“1”和“0”的样本点集合，线的长短表示距离远近，如图 7 所示。已知 0 号样本的预测结果为“1”，通过将新样本集的分布可视化并依据结果实现聚类，可以看出 0 号样本更倾向于聚合于预测结果为“1”的样本集，这也是从样本分布的角度对预测结果做出初步解释。

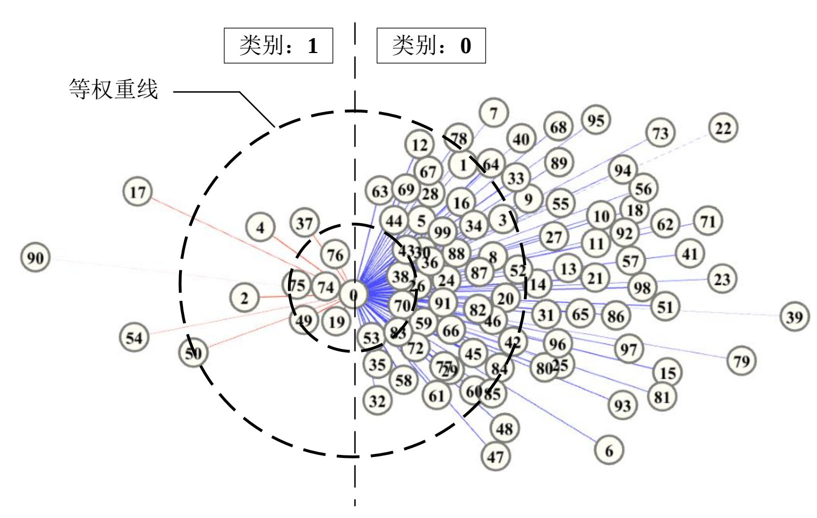


图 7 基于权重大小与预测类别的样本点分布图

Figure 7 Sample Point Distribution Map Based on Weight Size and Prediction Category

（3）基于可解释性结果“析出”结果特征

LIME 输出结果可为故事化模型提供关于预测结果概率值、关键特征值、解释特征权重值等要素的支持。由 LIME 算法输出的特征列表如表 3 所示。

表 3 LIME 算法输出的特征权重列表

Table 3 List of Feature Weights Output by the LIME Algorithm

特征排序	特征值范围	特征权重
0	CreditCardDebt <= 0.37	-0.162433
1	Address <= 3.00	0.084595
2	3.00 < YearsOfService <= 7.00	0.076309
3	8.50 < DebtRatio <= 13.90	-0.007021
LIME 预测概率值：[0.281117]		
原模型预测概率：[0.292807]		

由表 3 可知，相较于原始模型，基于 LIME 算法训练的代理模型在结果预测方面具有良好的拟合度，并且给出了关键特征对于预测结果影响的权重大小，这对于调整特征方向以获得期望结果至关重要，权重正负代表对预测结果影响的积极或消极作用。

（4）基于结果特征重组故事要素

基于 3.2 部分对要素元组的定义与表示，在析出结果特征的前提下，将用户u（0 号样本）在模型中的特征及解释结果重组为故事要素，要素对应情况可表示为“

{“工作年限为 4 年、住址特征值为 0、债务收入比率为 9.7、信用债务比率为 0.2、预测结果为[0]”→“人物”，“上调 CreditCardDebt 可使预测概率更接近原模型”→“行为”，“CreditCardDebt 权重为-0.162433、Address 权重为 0.084595”→“变动依据”，“与期望目

标距离差为 0.011690”→空间位置}

（5）基于故事要素实现叙事

重组故事要素有助于明确故事背景、目标、人物、事件和情节，基于对用户u的要素元组表示，依据样本特征值变化构建特定人物的事件树，即由一组事件及其关系组成，在事件树上赋予相应的故事标识则生成了一个数据故事。以用户u为代表的数据故事树如图 8 所示，故事背景是用户u的预测结果为[0.292807]，基于 LIME 算法的局部预测结果为[0.281117]，故事目标为以故事化方式对产生该预测结果的原因进行解释，具体操作方法是依据 LIME 特征权重列表依次添加关键特征，观察特征添加后的预测结果与用户u的预测结果的差距，距离缩小说明特征贡献度为正向。树的深度由关键特征的个数决定，如 0 号样本的关键特征数为 4，故显示 4 层树；树的每个分支划分依据样本特征权重大小和特征值在该列特征的分布范围，特征权重大的具有优先划分权。图中红线标识了解释算法对于 0 号样本的解释过程，结果可知，随着关键特征的增加，其距离待解释样本的距离逐渐缩小，由样本 0——事件 1-1——事件 2-1——事件 3-2——事件 4-2 组成的一系列故事点即构成面向用户u的一个故事情节，也可看作最简单的数据故事。

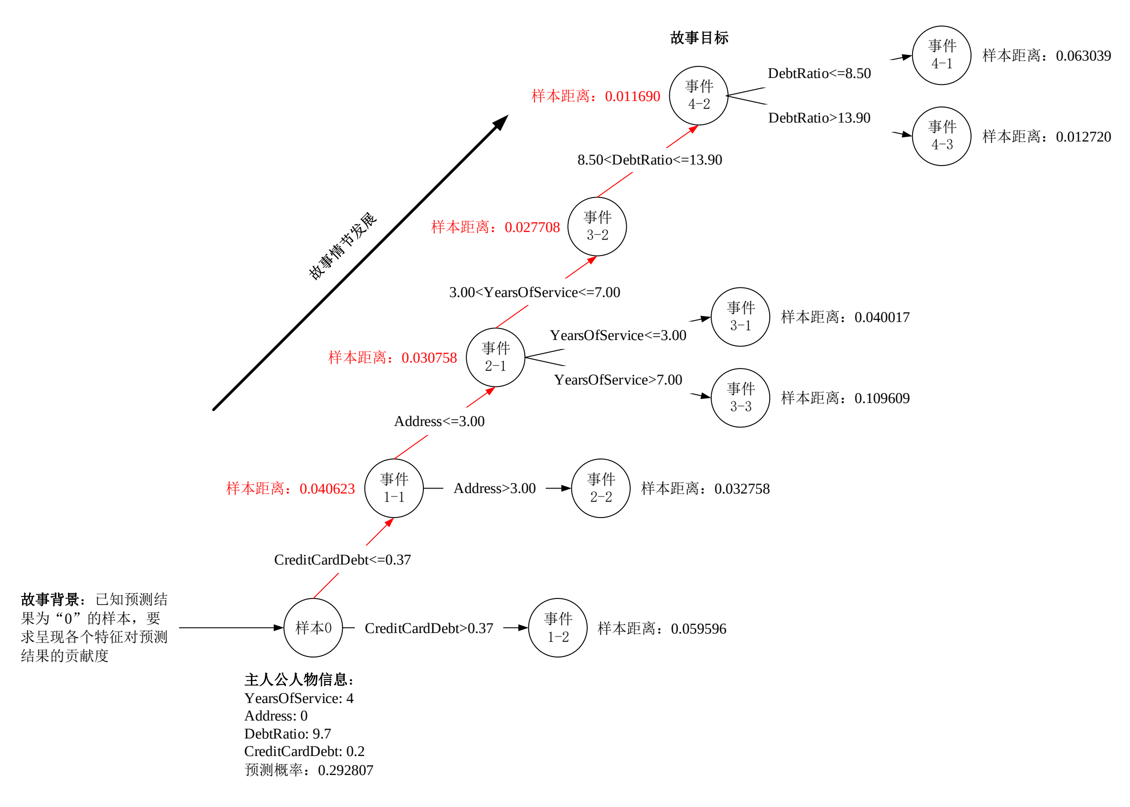


图 8 用户u（0 号样本）主导下的数据故事树

Figure 8 Data Story Tree Led by User u (Sample 0)

由图 8 可知，各个特征范围对于预测结果具有不同的贡献度，随着不同重要性程度的特征加入模型预测中，其与初始样本点的距离逐渐缩小，直至达到 0.011690，说明可解释性结果与原模型预测结果具有良好的保真度。图 8 仅展示了单个样本点（故事主角）的故事化解释过程，进一步推理可知，若要对多个人物的故事化过程进行呈现则可组成故事森林，故事森林的树与树之间保持一定的联系。每个故事树由多个逻辑上相连的事件组成，从根节点到叶子节点单条路径上的事件序列组成了一个情节或故事，可以看出故事情节是对故事发展中重要事件的合理映射，并从特征变化的角度解释事件之间的关系。由案例分析结果可知，本

研究提出的数据故事化方法，包括故事化模型、实现路径和交互融合框架，在面对任意模型中单一样本点的结果解释时是切实可行的，且具有良好的交互体验和泛化能力。

5 结论/Conclusion

本研究提出了一种新颖的数据故事化方法，旨在桥接模型无关的局部可解释性结果与数据故事化之间的缺口。通过将复杂的解释结果转换成包含深刻洞察的故事，本方法融合了关键特征解释与叙事结构，集成数据可视化、数据分析、故事化建模、自然语言生成及故事呈现等多种技术，以更有效地传递数据信息、阐释预测结果，并与受众共享知识。此方法的研究价值在于：（1）填补了研究空白：针对数据故事化方法的探索不足，构建了可解释性理论与数据故事化理论支撑的数据故事化模型，从而加强模型无关局部可解释性结果与数据故事化的整合。（2）创新了故事生成模型：通过开发“析出—重组—叙事”的数据故事生成框架，有效地实现了从解释结果到故事要素的转化，为叙述构建提供结构化框架。（3）探索了“扇形”故事化实现路径：提出一条基于可解释性结果的故事化实现路径，并通过实际数据集的应用验证了该路径和故事化方法的有效性。

尽管该研究在数据故事化领域取得了显著进展，但仍存在挑战，特别是在可解释性结果的数据要素提取方法和故事树的自动化生成方面需要进一步优化。未来研究将重点关注这些领域的深入探究及故事化模型的评价研究，以期不断提升数据故事化方法的准确性、效率和用户体验。通过这些努力，本研究旨在为数据科学家提供强大工具，以通俗易懂的方式解释复杂数据，为决策者和故事受众揭示数据背后的故事和洞察。

参考文献

[1] 朝乐门,张晨.数据故事化:从数据感知到数据认知[J].中国图书馆学报,2019,45(05):61-78. (CHAO L M, ZHANG C. Data storytelling: from data perception to data cognition[J]. Journal of library science in China, 2019,45(05):61-78.)

[2] LEE B, RICHE N H, ISENBERG P, et al. More than telling a story: transforming data into visually shared stories[J]. IEEE computer graphics and applications, 2015, 35(5): 84-90.

[3] 张晨.分类分析结果的数据故事化描述模型研究[J/OL].情报科学:1-19[2023-11-02].http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1264.G2.20230615.1011.004.html. (ZHANG C. Data storytelling description model for classification analysis results[J/OL]. Information science:1-19[2023-11-02].http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1264.G2.20230615.1011.004.html.)

[4] 周霞,王萍,张韫麒等.数据故事化实践应用分析——以数据新闻为例[J].图书情报工作,2021,65(14):119-127. (ZHOU X, WANG P, ZHANG Y Q, et al. Practical application analysis of data storytelling: taking data news as an example[J]. Library and information service, 2021,65(14):119-127.)

[5] 刘桂锋,吴雅琪,刘琼.数据故事化的研究进展：内涵、流程、模型与应用[J].图书情报工作,2023,67(19):133-144. (LIU G F, WU Y Q, LIU Q. Research progress in data storytelling: connotation, process, model and application[J]. Library and information service, 2023,67(19):133-144.)

[6] REN D, BREHMER M, LEE B, et al. Chartaccent: annotation for data-driven storytelling[C]//2017 IEEE pacific visualization symposium (PacificVis). Ieee, 2017: 230-239.

[7] ZAFAR M R, KHAN N. Deterministic local interpretable model-agnostic explanations for stable explainability[J]. Machine learning and knowledge extraction, 2021, 3(3): 525-541.

[8] DANDOLO D, MASIERO C, CARLETTI M, et al. AcME—accelerated model-agnostic explanations: fast whitening of the machine-learning black box[J]. Expert systems with applications, 2023, 214: 119115.

[9] 朱春霖,余成波.基于 LightGBM 算法的光伏并网系统孤岛检测及其集成的可解释研究[J].电力自动化设备,2023,43(07):80-86+150. (ZHU C L, YU C B. Islanding detection of grid-connected photovoltaic system based on LightGBM algorithm and its integrated interpretability analysis[J]. Electric power automation equipment, 2023,43(07):80-86+150.)

[10] AAMIR A, TAMOSIUNAITE M, WÖRGÖTTER F. Interpreting the decisions of CNNs via influence functions[J]. Frontiers in computational neuroscience, 2023, 17: 1-15.

[11] DANESH T, OUARET R, FLOQUET P, et al. Hybridization of model-specific and model-agnostic methods for interpretability of neural network predictions: application to a power plant[J]. Computers & chemical engineering, 2023, 176: 108306.
[12] VERMA S, BOONSANONG V, HOANG M, et al. Counterfactual explanations and algorithmic recourses for machine learning: A review[J]. arxiv preprint arxiv:2010.10596, 2020.
[13] RAJAPAKSHA D, BERGMEIR C, BUNTINE W. LoRMIkA: Local rule-based model interpretability with k-optimal associations[J]. Information sciences, 2020, 540: 221-241.
[14] LEE M, JEON J, LEE H. Explainable AI for domain experts: a post hoc analysis of deep learning for defect classification of TFT–LCD panels[J]. Journal of intelligent manufacturing, 2021, 33(6): 1747-1759.
[15] SEGEL E, HEER J. Narrative visualization: telling stories with data[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2010, 16(6): 1139-1148.
[16] YUAN S T D, CHIU P W. Persuasive narrative advertisement generator: a microenterprise service innovation perspective[J]. Information systems frontiers, 2016, 18: 597-619.
[17] FREYTAG G. Technique of the drama: an exposition of dramatic composition and art[M]. S. Griggs, 1895:115.
[18] DYKES B. Effective data storytelling: how to drive change with data, narrative and visuals[M]. John Wiley & Sons, 2019:163.
[19] CAMPBELL J. The hero with a thousand faces[M]. New world library, 2008: 227-228.
[20] HOEY M, WINTER E O. On the surface of discourse[M]. London: Allen & Unwin, 1983:214-220.
[21] 张晨,孙智中,靳庆文.基于故事模型的“数据+故事”融合转化机制[J].现代情报,2023,43(07):23-34. (ZHANG C, SUN Z Z, JIN Q W. "Data+Story" fusion transformation mechanism based on story model[J]. Journal of modern information, 2023,43(07):23-34.)
[22] YANG L, XU X, LAN X Y, et al. A design space for applying the freytag's pyramid structure to data stories[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2021, 28(1): 922-932.
[23] MCNUTT D. Making information literacy stick: finding SUCCESs in library instruction[C].//Loex conference proceedings 2010. 2012:199-202.
[24] CHEN Q, LI Z, PONG T C, et al. Designing narrative slideshows for learning analytics[C]//2019 IEEE pacific visualization symposium (PacificVis). IEEE, 2019: 237-246.
[25] 张晨. 基于用户交互行为分析的数据故事建模方法研究[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(02):185-191. (ZHANG C. Research on data story modeling method based on user lnteraction behavior analysis[J]. Information studies: theory & application,2021, 44(02):185-191.)
[26] SO W, BOGUCKA E P, ŠĆEPANOVIĆ S, et al. Humane visual ai: telling the stories behind a medical condition[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2020, 27(2): 678-688.
[27] SCHEWE K D, THALHEIM B. Conceptual modelling of web information systems[J]. Data & knowledge engineering, 2005, 54(2): 147-188.
[28] 毛英豪,孙振嘉,黄新平.解构、组织与场景再现：开放馆藏资源故事化研究[J/OL].情报理论与实践:1-10[2023-11-24].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20230728.1415.002.html. (MAO Y H, SUN Z J, HUANG X P. Deconstruction, organization and scene reproduction: research on storytelling of open collection resources[J/OL]. Information studies: theory & application:1-10[2023-11-24].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20230728.1415.002.html.)
[29] 张莉曼,吴鹏,尹熙成等.政民互动数据中公众诉求的故事化描述：集成、重构与叙事[J].情报理论与实践,2023,46(04):141-149. (ZHANG L M, WU P, YIN X C, et al. Storytelling description of public appeal in government-to-citizen interaction data: integration, reconstruction and narration[J]. Information studies: theory & application, 2023,46(04):141-149.)
[30] 汪维富,闫寒冰,毛美娟.数据故事化：教育数据要素价值转化的新视角[J].电化教育研究,2023,44(05):13-19+28. (WANG W F, YAN H B, MAO M J. Data storytelling: a new perspective of value transformation of educational data elements[J]. e-Education research, 2023,44(05):13-19+28.)
[31] MEUSCHKE M, GARRISON L A, SMIT N N, et al. Narrative medical visualization to communicate disease data[J]. Computers & graphics, 2022, 107: 144-157.
[32] NAGIREDDY S R. StoryNet: A 5W1H-based knowledge graph to connect stories[M]. University of Missouri-Kansas City, 2021:4-6.

[33] LAPP D, FISHER D, JOHNSON K. Text mapping plus: improving comprehension through supported retellings[J]. Journal of adolescent & adult literacy, 2010, 53(5): 423-426.
[34] VONNEGUT K. A dispatch from a man without a country[J]. How to lose a war, 2006: 17-27.
[35] PARK S M, KIM Y G. Survey and challenges of story generation models-a multimodal perspective with five steps: data embedding, topic modeling, storyline generation, draft story generation, and story evaluation[J]. Information fusion, 2021, 67: 41-63.
[36] JACK H. 故事技巧—叙事性非虚构文学写作指南[M]. 叶青, 等, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 22-36. (JACK H. Storycraft：The complete guide to writing narrative nonfiction[M]. Translated by YE Q, et al. Bei Jing: China Renmin university press Ltd, 2012: 22-36.)
[37] LAJOS E. 编剧的艺术[M]. 高远译. 北京: 北京联合出版公司, 2013:147. (Lajos Egri. The art of dramatic writing[M]. Translated by GAO Y. Bei Jing: Beijing United publishing Co.,Ltd., 2013:147.)
[38] SATISH A, JAIN R, GUPTA A. Tolkien: an event based storytelling system[J]. Proceedings of the VLDB endowment, 2009, 2(2): 1630-1633.
[39] LIU B, HAN F X, NIU D, et al. Story forest: extracting events and telling stories from breaking news[J]. ACM transactions on knowledge discovery from data (TKDD), 2020, 14(3): 1-28.
[40] WOLFF A, MULHOLLAND P, COLLINS T. Storyscope: using theme and setting to guide story enrichment from external data sources[C]//Proceedings of the 24th ACM conference on hypertext and social media. 2013: 79-88.
[41] KAGGLE. Credit risk analysis for extending bank loans[EB/OL]. [2023-11-22]. https://www.kaggle.com/datasets/atulmittal199174/credit-risk-analysis-for-extending-bank-loans.

作者贡献说明：
靳庆文：提出研究思路，实验方案设计，数据采集和分析，论文起草与修订。

支撑数据：
支撑数据可开放获取，获取地址为 https://www.kaggle.com/datasets/atulmittal199174/credit-risk-analysis-for-extending-bank-loans.

Data Storytelling Method: Extraction, Reorganization and Narrative

Jin Qingwen[1,2]
1. Key Laboratory of Data Engineering and Knowledge Engineering (Renmin University of China), Beijing 100872, China
2. School of Information Resource Management, Renmin University of China, Beijing, 100872, China

Abstract: **[Purpose/Significance]** The data storytelling method of integrating interpretability results provides a new strategy to solve the problems of difficult data cognition, difficult to understand prediction results and low reliability of model decision-making. **[Method/Process]** This paper summarizes the interpretation form of model-agnostic local interpretability technology, the narrative structure of data stories and the methods used in the current research on data storytelling. Based on the interpretability theory and the realization mode of data storytelling, a data storytelling model of "extraction-reorganization-narrative" is constructed, and the data story mapping process is given by using the defined element tuple. The key techniques of story model design are introduced briefly. **[Result/Conclusion]** Under the theoretical guidance of data storytelling model design, this paper proposes a "fan-shaped" storytelling implementation path for interpretation results and an interactive framework that integrates the elements of interpretation results and storytelling model, and reflects the practical value of data storytelling method in result interpretation through case

studies. A framework of data storytelling methods based on interpretable results is constructed, which provides new ideas for expanding storytelling paths with data perception and cognition and assisting intelligent decision-making.
Keywords: data storytelling; interpretability; model-agnostic; local interpretability; narrative